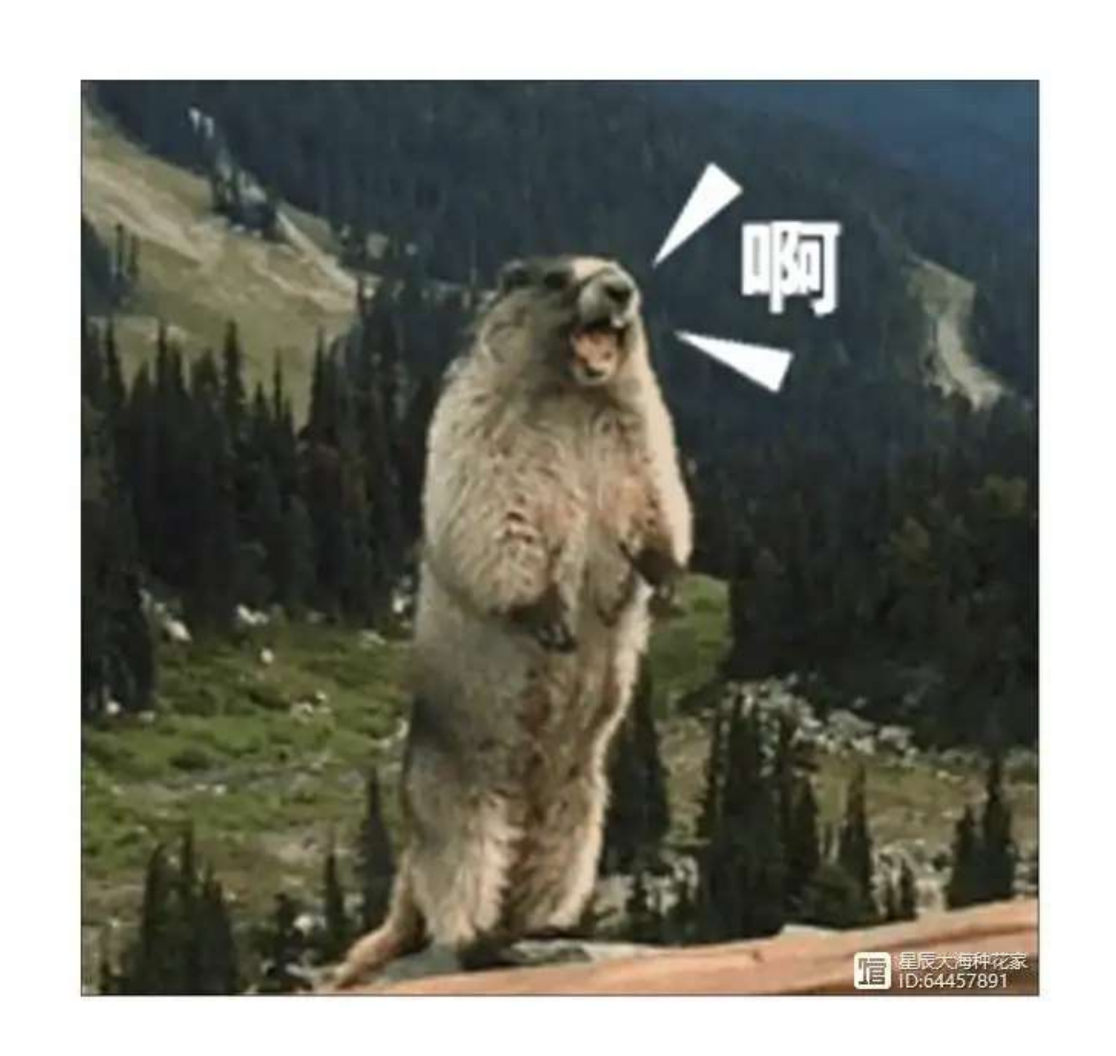
第4篇 遗传与进化





第八章　近亲繁殖与杂种优势





一、近亲繁殖及其遗传效应

1、相关的概念

❖简称近交（inbreeding）、近亲交配，指亲缘关系相近的雌雄个体交配,或指基因型相同或相近的两个个体间的交配。

❖近交可以使原本是杂交繁殖的生物增加纯合性（homozygosity），从而提高遗传稳定性，但是往往伴随严重的近交衰退现象（inbreeding depression）。

❖杂交（outbreeding），可以使原本是自交或近交的生物增加杂合性（heterozygosity），产生杂种优势（heterosis）。

一、近亲繁殖及其遗传效应

1、相关的概念

杂交和近交都可以为人类服务

- 动植物遗传改良，往往近交和杂交交替使用

- 既利用近交的长处又利用杂交的优点
- 既避免近交的缺陷又避免杂交的短处

一、近亲繁殖及其遗传效应

1、相关的概念

近交的类型

■有亲缘关系的个体间的交配或配子的结合。包括

❖自交（selfing）

❖全同胞交配

❖半同胞交配

❖表兄妹间交配

❖回交

■自交是近交的极端形式，一般只出现在植物中（自花授粉植物），动物界也有。

一、近亲繁殖及其遗传效应

1、相关的概念

异交

- 品种内个体间交配
- 品种间交配
- 种内亚种间交配

- **种间交配**
- **属间交配**

} **远缘杂交（困难）**

一、近亲繁殖及其遗传效应

2、自交的遗传效应

（1）杂合体通过自交，其后代群体表现的遗传效应：

❖第一，杂合体通过自交可以导致后代基因的分离，将使后代群体中的遗传组成迅速趋于纯合化。

世代	自交世代	基因型的比数	(Aa) 比数	纯合体比数
P	0	Aa		
F1	1	1AA 2Aa 1aa	1/2	1-1/21=50
F2	2	6AA 4Aa 6aa	1/4	1-1/22=75
Fr	r	⋮	$1/2^r$	$1-1/2^r$

一、近亲繁殖及其遗传效应

2、自交的遗传效应

杂合体Aa连续自交后代基因型比例的变化

世代	自交次数	基因型频率 AA	基因型频率 Aa	基因型频率 aa	杂合体频率	纯合体频率
F_1	0	0	1	0	1	0
F_2	1	1/4	1/2	1/4	1/2	1/2
F_3	2	3/8	1/4	3/8	1/4	3/4
F_4	3	7/16	1/8	7/16	1/8	7/8
F_5	4	15/32	1/16	15/32	1/16	15/16
…	…	…	…	…	…	…
F_{r+1}	r	$\frac{2^r-1}{2^{r+1}}$	$\frac{1}{2^r}$	$\frac{2^r-1}{2^{r+1}}$	$\frac{1}{2^r}$	$1-\left(\frac{1}{2}\right)^r$

一、近亲繁殖及其遗传效应

2、自交的遗传效应

- 每自交一代，杂合体比例下降1/2，逐渐→0，但是只要没有选择在起作用，就永远不会等于0。
- 纯合体增加的速度和强度，杂合体下降的速度和强度，与所涉及的基因对数、自交次数和是否选择有关。

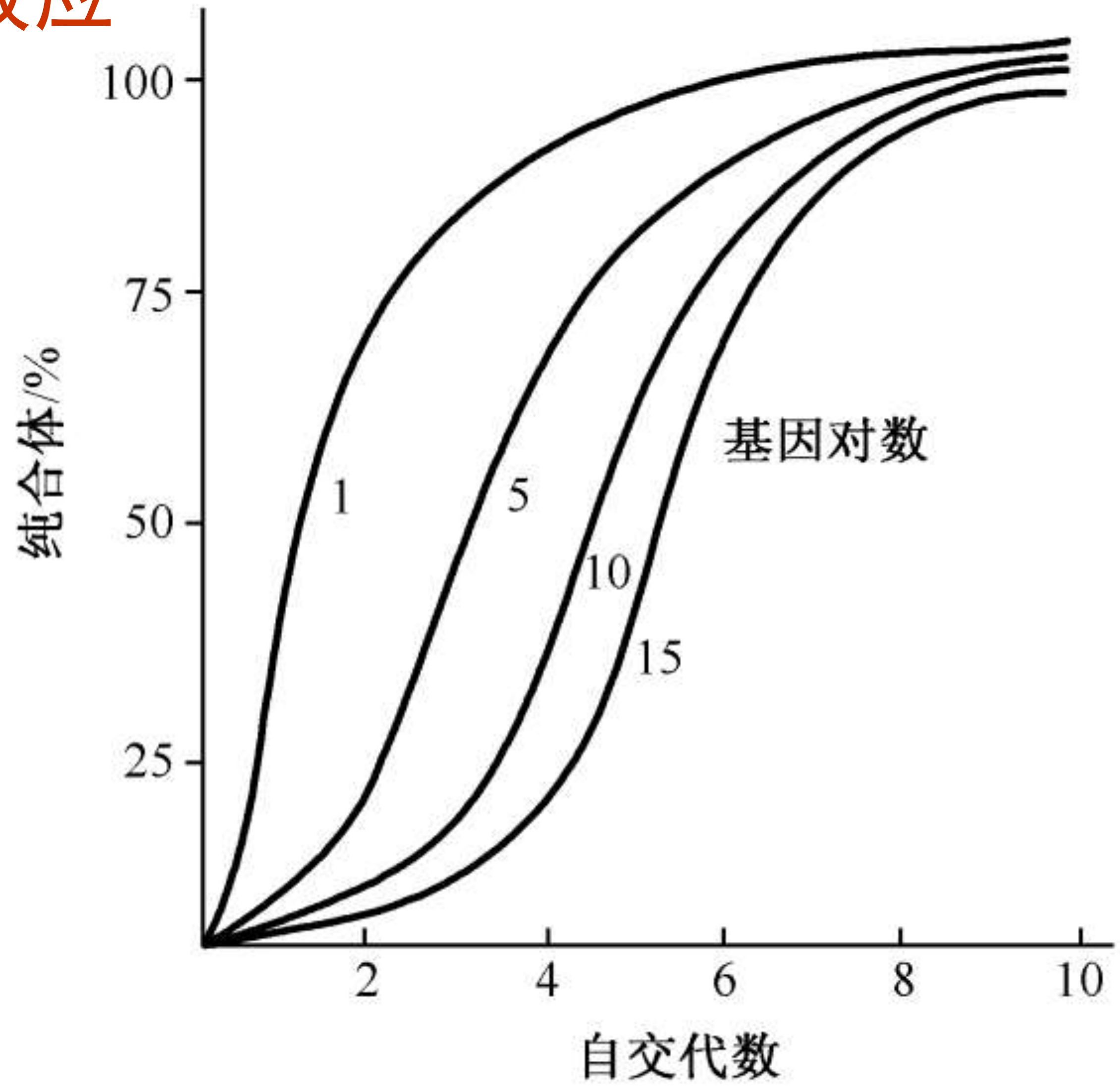
- **设n对异质基因，自交r代，其后代群体中纯合体的比例为：**

$$\left(1-\frac{1}{2^r}\right)^n$$

  - 各对基因是独立遗传的，不存在连锁；
  - 各种基因型个体的生活力、繁殖力相等。

一、近亲繁殖及其遗传效应

2、自交的遗传效应



杂合基因对数与自交后代纯合速度的关系

一、近亲繁殖及其遗传效应

2、自交的遗传效应

二项式定理的应用，公式为:

$$(a+b)^n = C_n^0 a^n + C_n^1 a^{n-1} b^1 + \cdots\cdots C_n^r a^{n-r} b^r + \cdots\cdots C_n^n b^n \quad (n \in N)$$

$$c_n^m = \frac{p_n^m}{p_m^m} (m \le n) = \frac{n(n-1)(n-2)\cdots(n-m-1)}{m!} = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

$$p_n^m = \frac{n!}{(n-m)!} (m \le n) \qquad p_n^n = n! \qquad c_n^0 = 1$$

一、近亲繁殖及其遗传效应

2、自交的遗传效应

(2) 隐性性状通过自交得以表现

❖在异交物种中，有害的隐性基因多存在于杂合体中，一旦自交或近交，隐性基因得以纯合而表现隐性有害性状。

❖自花授粉植物由于长期自交，有害的性状已经被长期的自然选择和人工选择所淘汰，后代中很少出现隐性有害性状，也不会因为近交而使生活力显著降低。

一、近亲繁殖及其遗传效应

2、自交的遗传效应

(3) 自交导致遗传性状的稳定

- 纯合体在遗传上是稳定的，杂合体在遗传上是不稳定的。

- 自交使得基因型不断得到纯合，从而使遗传性状表现稳定一致。

- 自交和近交对于农作物品种的保纯和物种的稳定性都具有重要的意义。

一、近亲繁殖及其遗传效应

3、回交的遗传效应

- 回交也是近交的一种形式。
- 回交在遗传学研究和育种上都是常用的方法。
- 利用隐性亲本和F1回交，可以测定F1产生的配子的种类和比例。
- 通过连续多代回交可以向特定的遗传背景中导入个别基因或染色体区段。

一、近亲繁殖及其遗传效应

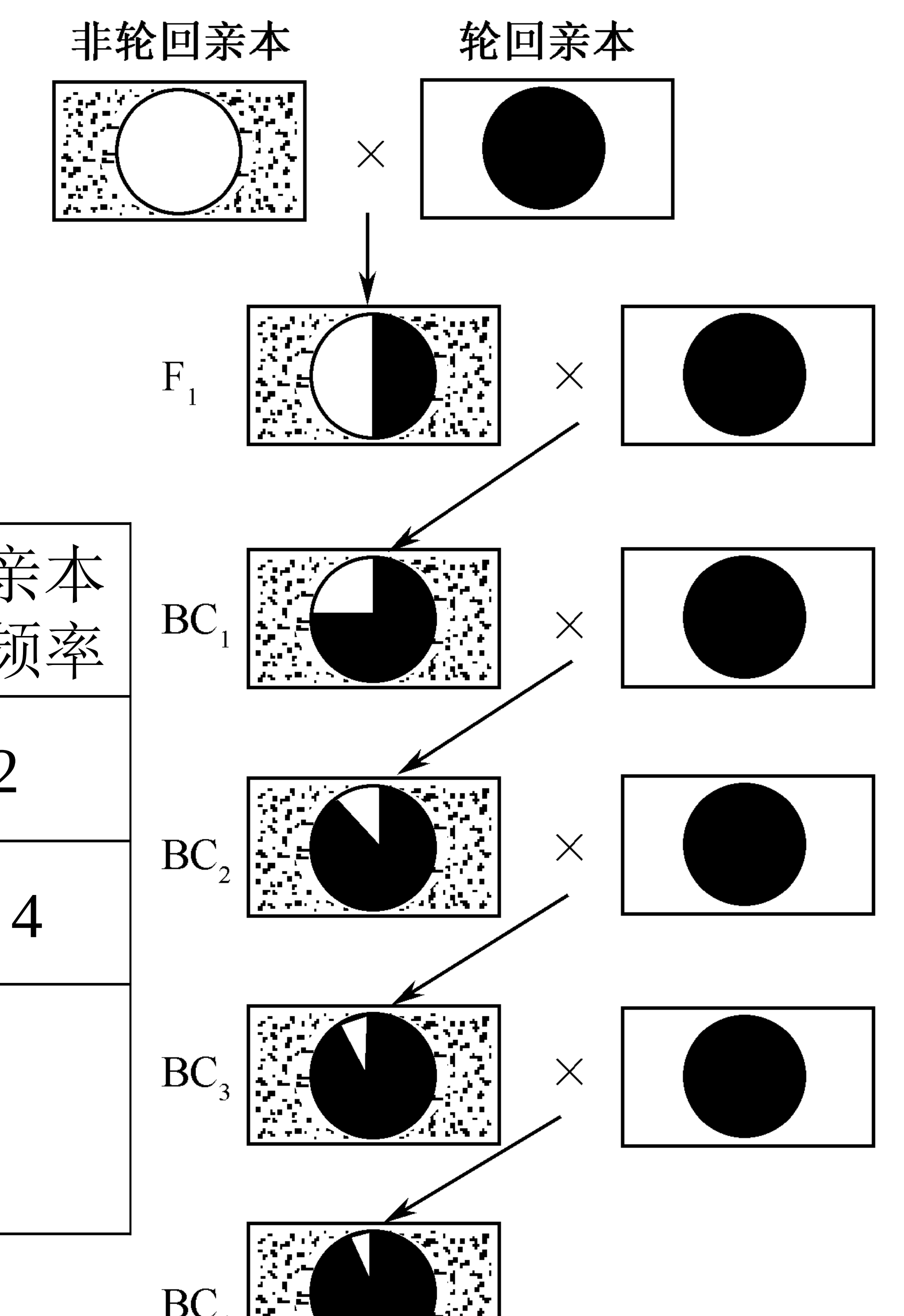
3、回交的遗传效应

用于回交的亲本为**轮回亲本**

未被用来回交的亲本为**非轮回亲本**

AA×aa	杂合体 Aa	纯合体 AA	轮回亲本基因频率
F_1 Aa×aa	1	O	1/2
aa	1／2=50%	l／2=50%	3／4
回交r代			

可尝试两对等位基因的回交



一、近亲繁殖及其遗传效应

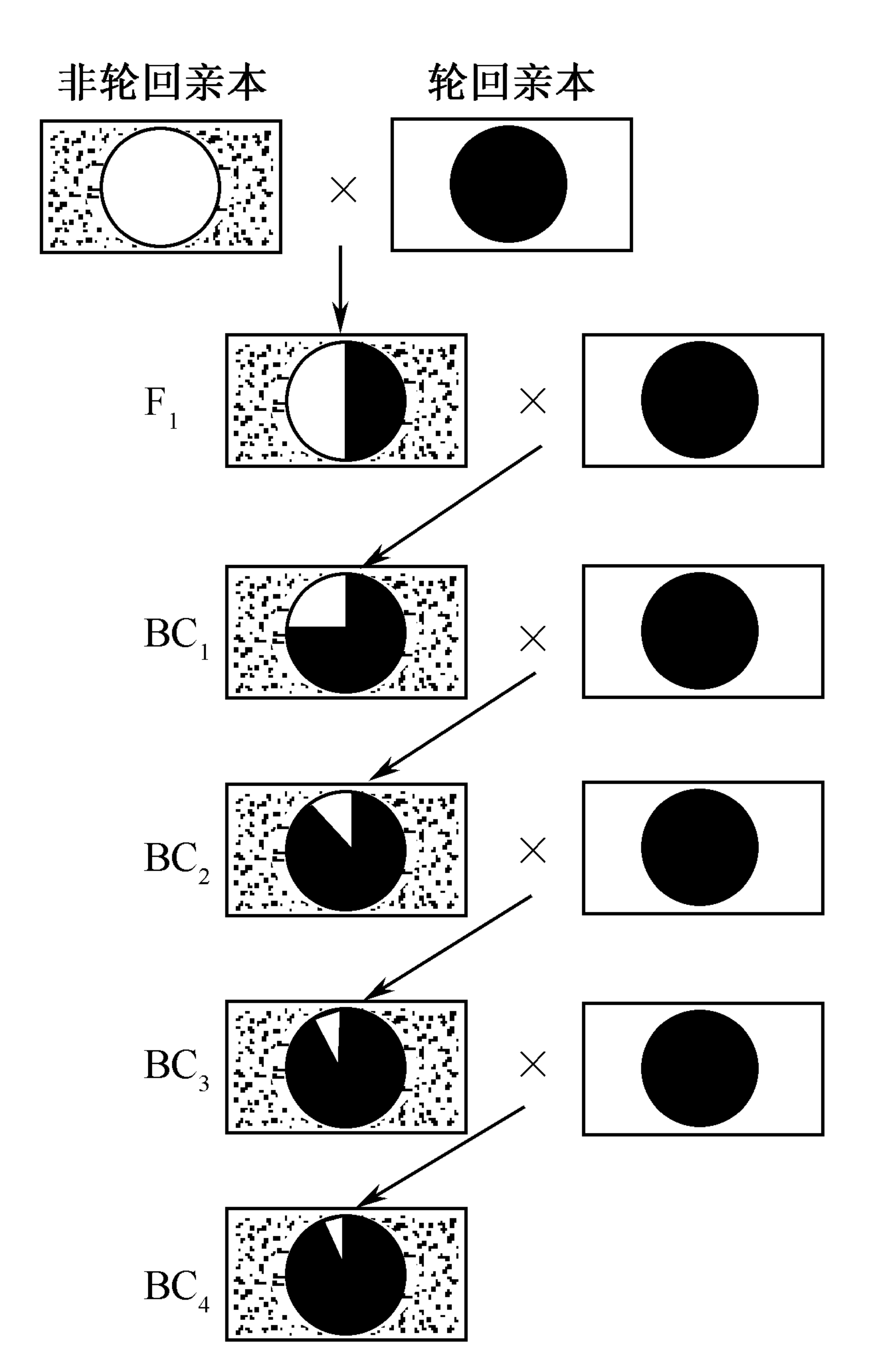
3、回交的遗传效应

❖回交也能够导致基因型纯合。

❖每回交一次，非轮回亲本的遗传组成就下降1/2。

❖经过若干代回交，后代将基本上恢复为轮回亲本的遗传组成。

❖一般来说，连续回交的过程都会伴随人工选择，保留非轮回亲本的目标性状，否则回交就失去了意义。

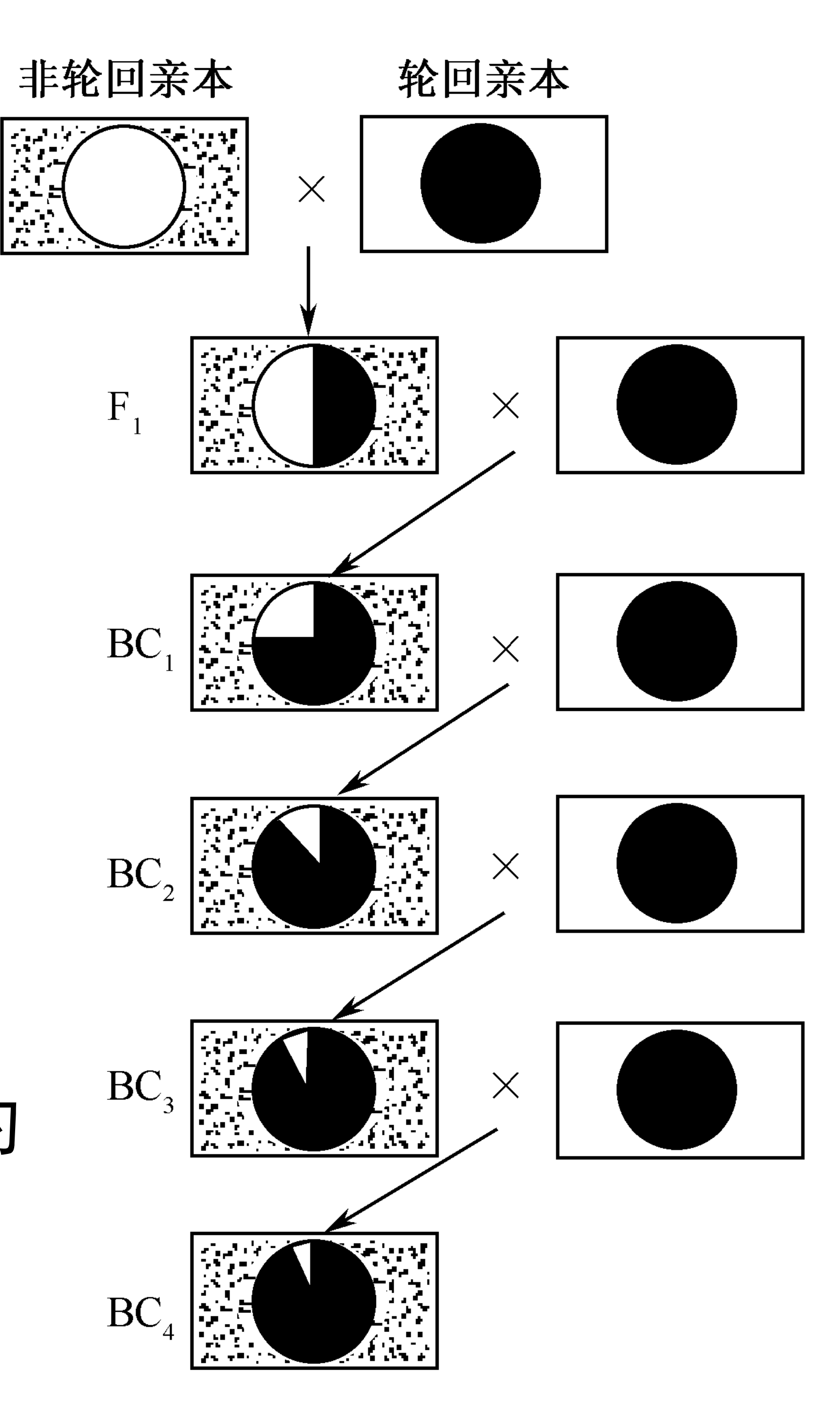


一、近亲繁殖及其遗传效应

3、回交的遗传效应

回交与自交的区别

- 回交和自交都能导致后代基因型的纯合
- 自交后代中纯合基因型的种类多种多样
- 而回交后代中基因型严格受轮回亲本的制约



一、近亲繁殖及其遗传效应

3、回交的遗传效应

回交与自交的区别

- 假设涉及3对基因，自交后代应该有2^3=8种纯合基因型
- AABBCC AABBcc AAbbCC AAbbcc aaBBCC aaBBcc aabbCC aabbcc
- 自交r次以后，后代群体中纯合基因型的比例均为 $\left(1-\frac{1}{2^r}\right)^n$
- 每一种纯合基因型的比例只有 $\left(1-\frac{1}{2^r}\right)^n \times \left(\frac{1}{2}\right)^n$
- 回交r次以后，后代群体中这一种纯合基因型的比例为 $\left(1-\frac{1}{2^r}\right)^n$

二、纯系学说

1、Johanson的菜豆试验：

- 1900年起，连续6年对自花授粉作物菜豆进行粒重选择
- 从天然混杂的一批菜豆商品种子中，选出粒重显著不同的100粒种子分别播种，
- 成熟后分株收获，记录每株种子的单粒重从中又选出19个单株，每个单株后代为一个株系。
- 这些株系的平均粒重之间有明显差异，最重者高达64.2g/100粒，轻者仅35.1g，
- 同时，每个株系内又选出最重和最轻的两类种子分别播种，如此进行了6个世代。

二、纯系学说

1、Johanson的菜豆试验：

收获年份	小粒株系（1901年种子重351mg）				大粒株系（1901年种子重642mg）			
	当选植株的种子平均重		后代植株的种子平均重		当选植株的种子平均重		后代植株的种子平均重	
	轻粒种子	重粒种子	轻粒种子	重粒种子	轻粒种子	重粒种子	轻粒种子	重粒种子
1902	300	400	340	350	600	700	632	649
1903	250	420	402	410	550	800	752	709
1904	310	430	314	326	500	870	546	549
1905	270	390	383	392	430	730	636	636
1906	300	460	379	399	460	840	730	744
1907	240	470	374	370	460	810	677	691
平均	278	428	368	374	517	792	667	662

二、纯系学说

2、纯系学说

- 在一个自花授粉植物的天然混杂群体中，通过选择可以分离出许多纯系；
- 在混杂群体中选择有效；
- 纯系间的显著差异是稳定遗传的；
- 纯系内的差异是不遗传的，因而选择无效。

二、纯系学说

3、纯系学说的意义

- 自花授粉植物单株选择育种的理论基础。
- 区分了可遗传的变异和不可遗传的变异。
- 在基因型杂合的群体内选择有效，在基因型纯合的群体中选择无效。
- Johanson首次区分了表现型和基因型的概念。

二、纯系学说

4、纯系学说的局限性

- 纯系概念是建立在单一性状基础上的，不可能所有基因都纯合。
- 天然杂交会导致基因重组。
- 自发突变也会改变基因的纯合性。
- 基因型和环境互作，会出现新的表现型。

因此，“纯”只是相对的、局部的和暂时的。

我国的稻、麦中许多优良品种就是通过连续选择而育成的。

三、杂种优势

1、杂种优势的表现

（1）杂种优势：杂合体在一种或多种性状上优于亲本的现象。

（2）杂种优势的度量

$$平均优势=\frac{杂种表现型值-双亲平均值}{双亲平均值}\times 100\%$$

$$超亲优势=\frac{杂种表现型值-高亲值}{高亲值}\times 100\%$$

（3）杂种劣势：杂种优势有时候也会是负向的，杂种性状的表现不如亲本，这种现象又称为杂种劣势。

三、杂种优势

2、近交衰退

❖具有杂种优势的杂种如果自交或近交，下一代都会有不同程度的衰退。

❖F1自交，F2群体内必然出现各种各样的基因型，杂合体的比例下降为50%，从而出现性状的分离。

❖F2与F1相比，生长势、生活力、抗逆性、产量等方面都会表现下降。

❖这种现象称为近交衰退。

❖ 杂种亲本的纯合程度越高，优势越强，衰退现象越明显。

三、杂种优势

3、杂种优势的利用

❖在作物方面，因其繁殖和授粉方式不同，利用杂种优势的方法有所差异。

对无性繁殖作物，如甘薯、马铃薯等，只要选择那些具有杂种优势的优异单株进行无性繁殖，就可将其杂种优势固定。而对于有性繁殖的作物，杂种优势一般只能利用F1（F2以后，杂种优势逐渐下降）。

❖为了充分利用杂种优势，必须进行杂交亲本的选择、杂交组合筛选以及杂交工作的组织。

四、自交不亲和现象

1、自交不亲和现象的可能原因

广义的自交不亲和性包括形态结构上的自交不可能性。

（1）雄蕊先熟　在这种情况下，雄蕊在同一朵花中的柱头成熟之前先成熟，从而避免了花粉粒传到柱头上授粉受精，从而导致不育。

（2）雌蕊先熟　在这种情况下，柱头比雄蕊成熟早，同样导致不育。

（3）自花不育　在没有昆虫传粉的条件下，同一植株上的雌性和雄性器官的自然排列阻止自花授粉。

狭义的自交不亲和性是遗传学和生理学的机制所致的自交不亲和性。

四、自交不亲和现象

2、异态自交不亲和性

这种不亲和表现为雄蕊和花柱长度不同。

Lewis把这种长花柱、短花丝的花称为针型；

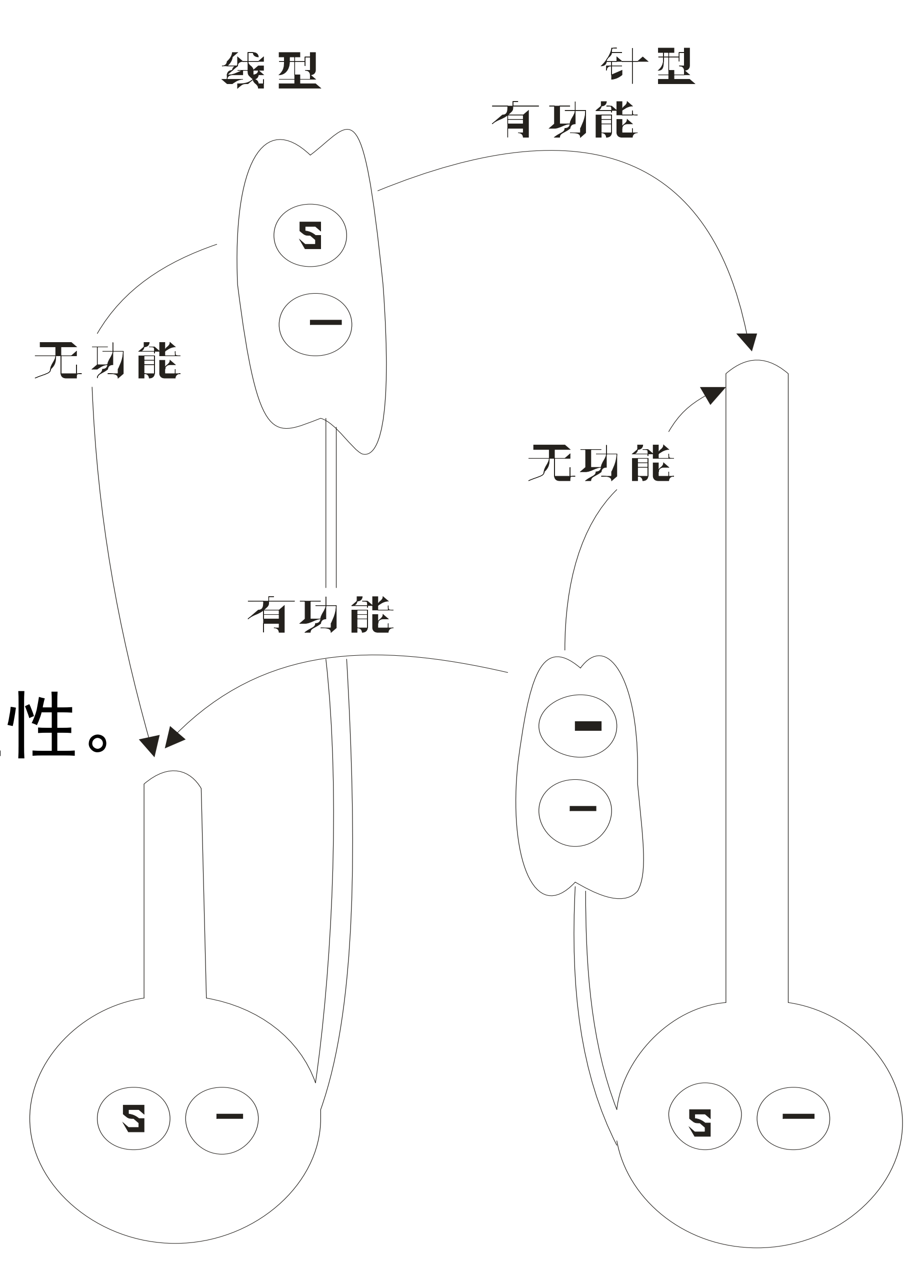
而把长花丝、短花柱的花称为线型。

基因型针型的为ss，线型的为Ss，S对s为完全显性。

只有在下面的基因型之间才能授粉：

针型(ss)×线型(Ss)

线型(Ss)×针型(ss)



四、自交不亲和现象

3、同态自交不亲和性

同态自交不亲和性包括配子体不亲和性和孢子体不亲和性。

（1）配子体自交不亲和性——具有不同遗传组成的植株杂交时，会出现三种可能：①完全不亲和；②半数花粉亲和；③完全亲和。

（2）孢子体自交不亲和性——这种类型的不亲和性也由单一基因位点上的复等位基因控制，不同于配子体不亲和性的是，花粉的功能取决于产生这种花粉植株的基因组成。